پیش فصل: آشنایی کلی با بارها و ترکیب بارها

قسمت اول: آشنایی با انواع بارهای وارد بر سازه..... ۸
قسمت دوم: ترکیب های بارگذاری..... ۱۴
B-۱- مفاهیم اولیه..... ۱۴
B-۲-ترکیب بارها..... ۱۵

فصل اول: بارهای مرده و زنده

قسمت اول: روند توزیع بارهای ثقلی وارد بر کف‌ها..... ۲۴
A-۱- سطح بارگیر اعضا..... ۲۴
A-۲- سطح بارگیر تیرها در دال‌های یک‌طرفه..... ۲۴
A-۳- سطح بارگیر تیرها در دال‌های دوطرفه..... ۳۲
A-۴- سطح بارگیر ستون‌ها..... ۳۴
قسمت دوم: بررسی دقیق‌تر بارهای مرده..... ۳۶
B-۱- مفهوم بار مرده..... ۳۶
B-۲- تخمین بار مرده کف..... ۴۱
B-۳- تخمین بار دیوارهای پیرامونی (محیطی)..... ۴۷
B-۴- وزن تجهیزات و تأسیسات ثابت..... ۵۰
قسمت سوم: بررسی دقیق‌تر بارهای زنده..... ۵۱
C-۱- مفهوم بار زنده..... ۵۱
C-۲- بارهای زنده استاتیکی..... ۵۲
C-۳- نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری..... ۶۴
قسمت چهارم: بار معادل دیوارهای تقسیم‌کننده..... ۷۰
D-۱- بار دیوارهای تقسیم‌کننده (تیغه‌ها)..... ۷۰
D-۲- رویکرد پخش بار تیغه‌های سنگین $W > 2kN/m^2$..... ۷۶
قسمت پنجم: کاهش بار زنده..... ۸۳
E-۱- مفهوم کلی کاهش بار زنده..... ۸۳
E-۲- حالت ۱: کاهش بار زنده در طبقات..... ۸۴
E-۳- حالت ۲: کاهش بار زنده در شرایط خاص (استثنائات)..... ۹۱
E-۴- حالت ۳: کاهش بارهای زنده در بام‌های تخت، شیب‌دار و قوسی..... ۹۲
E-۵- حالت ۴: کاهش بار زنده در بام‌های دارای کاربری ویژه..... ۹۴
E-۶- ترکیب حالت‌ها در مسائل کاهش بار زنده..... ۹۵
قسمت ششم: بارهای زنده وارد بر اجزاء متصل به سازه..... ۱۰۲
F-۱- تعاریف کلی..... ۱۰۲
F-۲- سیستم‌های نرده و جان‌پناه..... ۱۰۳
F-۳- بار وارد بر میله دستگیره..... ۱۰۵
F-۴- سیستم جان‌پناه پارکینگ..... ۱۰۵
F-۵- بار وارد بر نردبان ثابت..... ۱۰۶
قسمت هفتم: بارگذاری زنده دینامیکی..... ۱۰۹
H-۱- بار زنده دینامیکی (بار ضربه‌ای)..... ۱۰۹
H-۲- بارگذاری جرثقیل‌ها..... ۱۱۳

فصل دوم: بار برف وارد بر سازه

قسمت اول: بار برف متوازن در بام‌های مسطح و شیب‌دار..... ۱۲۲
A-۱- مقدمه..... ۱۲۲
A-۲- رابطه اساسی محاسبه بار برف متوازن..... ۱۲۴
A-۳- ضریب اهمیت بار برف (I_s)..... ۱۲۴
A-۴- بار برف مبنا (P_s)..... ۱۲۵
A-۵- ضریب برف‌گیری (C_n)..... ۱۲۷
A-۶- ضریب شرایط دمایی (C_h)..... ۱۳۲
A-۷- ضریب شیب (C_s)..... ۱۳۳
A-۸- محاسبه بار متوازن در بام‌های مسطح و شیب‌دار دوطرفه..... ۱۳۸
A-۹- بار برف متوازن در بام‌های شیب‌دار دارای طره..... ۱۴۳
قسمت دوم: محاسبه بار متوازن برف در بام‌های قوسی و دندانه‌ای..... ۱۴۷
B-۱- بار متوازن در بام‌های قوسی..... ۱۴۷
B-۲- بار متوازن برف در بام‌های کنگره‌ای و دندانه‌ای..... ۱۵۲
قسمت سوم: بارگذاری نامتوازن برف در انواع بام‌ها..... ۱۵۴
C-۱- مقدمه..... ۱۵۴
C-۲- بار نامتوازن برف در بام‌های شیب‌دار..... ۱۵۴
C-۳- بار نامتوازن برف در بام‌های قوسی..... ۱۶۲
C-۴- بار نامتوازن برف در بام‌های دندانه‌ای..... ۱۶۵
C-۵- بار برف نامتوازن در گنبدها..... ۱۶۸
قسمت چهارم: انباشتگی برف در بام پایین‌تر..... ۱۶۹
D-۱- انباشتگی برف در بام پایین‌تر در ساختمان‌های با بام پله‌ای..... ۱۶۹
D-۲- انباشتگی برف بر روی بام ساختمان‌های مجاور هم..... ۱۷۵
D-۳- انباشتگی برف در اطراف قسمت‌های بالا آمده و دست‌انداز بام..... ۱۷۸
قسمت پنجم: نکات تکمیلی بارگذاری برف..... ۱۸۰
E-۱- برف لغزنده..... ۱۸۰
E-۲- سربار باران بر برف..... ۱۸۴
E-۳- نامناسب‌ترین وضعیت بارگذاری..... ۱۸۴

فصل سوم : محاسبه بار باد

قسمت اول: مفاهیم اولیه محاسبه بار باد ۱۹۰

A-۱- مروری بر روش‌های محاسبه بار باد ۱۹۰

A-۲- محدودیت‌های آیین‌نامه در انتخاب روش محاسبه بار باد ۱۹۲

A-۳- نگاه کلی به رابطه اساسی محاسبه بار باد در روش استاتیکی ۱۹۵

A-۴- بررسی مفهومی فشار و مکش در داخل و خارج از سازه ۱۹۶

A-۵- محاسبه سرعت و فشار مبنای باد (q) ۱۹۸

A-۶- ضریب پستی و بلندی زمین (C_t) ۲۰۱

A-۷- محاسبه ضریب هم‌راستایی باد (C_d) ۲۰۷

قسمت دوم: محاسبه بار باد وارد بر ساختمان‌های کوتاه مرتبه جهت طراحی سازه بار براصلی ۲۰۸

B-۱- تقسیم‌بندی ساختمان‌ها از نظر ارتفاع ۲۰۸

B-۲- محاسبه ضریب تغییر سرعت (C_e) برای ساختمان‌های کوتاه مرتبه ۲۰۹

B-۳- بررسی حالت‌های مختلف ضرایب ترکیبی C_pC_g در سازه‌های کوتاه‌مرتبه ۲۱۲

B-۴- بارگذاری باد عمود بر خط‌الرأس بام یا همسو با شیب سقف ۲۱۴

B-۵- تعیین ضریب C_pC_g درحالت عمود بر شیب سقف ۲۱۹

قسمت سوم: بار باد وارد بر ساختمان‌های بلندمرتبه و محاسبه فشار داخلی باد ۲۲۲

C-۱- مفاهیم و کلیات ۲۲۲

C-۲- محاسبه ضریب تغییر سرعت باد (C_e) ۲۲۲

C-۳- ضریب اثر تندباد (C_g ,C_{gi}) ۲۲۴

C-۴- محاسبه ضریب فشار خارجی (C_p) در ساختمان‌های بلندمرتبه، برای طراحی سازه باربر اصلی ۲۲۶

C-۵- محاسبه ضریب فشار داخلی C_{pi} و ضریب C_e برای بازشوها ۲۲۹

C-۶- بررسی چند مثال متنوع ۲۳۰

قسمت چهارم: بارگذاری باد وارد بر پوشش دیوار و سقف انواع سازه‌ها ۲۳۴

D-۱- مفاهیم و کلیات ۲۳۴

D-۲- ضریب ترکیبی C_pC_g برای پوشش نما و دیوارها در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه ۲۳۴

D-۳- ضریب ترکیبی C_pC_g برای پوشش بام‌ها در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه ۲۳۸

D-۴- ضریب C_p^* برای محاسبه فشار یا مکش وارد بر پوشش‌ها، نماها و بام‌ها در ساختمان‌های بلندمرتبه ۲۴۸

قسمت پنجم: نکات تکمیلی بارگذاری باد ۲۴۹

E-۱- بارگذاری بخشی نیروی باد ۲۴۹

E-۲- کنترل لغزش در برابر نیروی باد ۲۵۱

E-۳- کنترل واژگونی در برابر نیروی باد ۲۵۱

E-۴- کنترل سازه ساختمان‌ها در برابر باد سطح بهره‌برداری ۲۵۱

فصل چهارم : مباحث تکمیلی

قسمت اول: بارگذاری یخ ۲۵۴

A-۱- کلیات ۲۵۴

A-۲- شیوه محاسبه بار یخ ۲۵۴

قسمت دوم: بار باران ۲۶۰

B-۱- کلیات ۲۶۰

B-۲- محاسبه بار باران ۲۶۰

B-۳- بررسی ناپایداری برکه‌ای و انباشتگی آب ۲۶۴

قسمت سوم: بار سیل ۲۶۵

C-۱- کلیات و تعاریف کلی ۲۶۵

C-۲- الزامات و بارهای طراحی ۲۶۷

C-۳- ترکیب اثر سیل و خاک ۲۶۹

C-۴- ضرایب اطمینان در مقابل لغزش، واژگونی و برکنش کف‌ها ۲۶۹

قسمت چهارم: بارهای خاک و فشار هیدرواستاتیکی ۲۷۰

D-۱- فشار جانبی ۲۷۰

D-۲- زیرفشار وارد بر کف و شالوده ۲۷۲

بودجه‌بندی سؤالات مبحث ششم

سال		فصل ۱	فصل ۲	فصل ۳	فصل ۴
۹۲	آذر	-	۱	۴	-
۹۳	خرداد	۳	۲	۱	۱
	آبان	۲	۳	۱	۱
۹۴	مرداد	۱	۱	-	-
	بهمن	۲	۱	-	۱
۹۵	شهریور	-	۲	-	-
	اسفند	۳	۲	-	۱
۹۶	مهر	۴	۱	۱	۱
۹۷	اردیبهشت	۲	۱	۱	۱
	بهمن	۱	۲	-	۱
۹۸	مهر	۳	۲	-	۱
۹۹	مهر	۳	۲	۲	-

Serie Omran
سری عمران

سخـن مؤلف

به نام یکتا مهندس هستی ...

سازه‌های بتن‌آرمه یکی از مهمترین دروس رشتهٔ مهندسی عمران است که یادگیری مفهومی و عمیق آن، برای موفقیت در آزمون نظام مهندسی لازم و ضروری می‌باشد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان در سال ۹۹، کمبود یک منبع قوی که بندهای آیین‌نامه را به شکل کاربردی و مثال‌محور بررسی کند، احساس می‌شد. از این‌رو تصمیم گرفتیم تا با یک کار گروهی منسجم، کتابی در دو جلد به شما عزیزان ارائه کنیم.

ویژگی‌های این کتاب

۱- ارائهٔ یک نگاه جدید در درس بتن که با طبقه‌بندی دقیق آیین‌نامه همراه با درسنامه‌های مفهومی، باعث افزایش سرعت یادگیری شما می‌شود.

۲- ایجاد یک روند جدید در آموزش مطالب، با کمک پرسیدن چند سؤال مفهومی در شروع هر بحث که درک شما را از مطالب بسیار بالا می‌برد.

۳- جمع‌آوری مثال‌های بسیار متنوع تألیفی در هر فصل که باعث افزایش چشمگیر مهارت شما در حل مسائل می‌شود.

۴- آوردن کلیهٔ سؤالات غیرتکراری آزمون‌های نظام مهندسی گذشته، همراه با تغییر آنها منطبق بر آیین‌نامهٔ جدید.

۵- ارائهٔ دیدهای مهندسی کاربردی و ارجاع مطالب به بندهای آیین‌نامه.

به شما اطمینان می‌دهیم که با مطالعهٔ این کتاب متوجه خواهید شد که بتن‌آرمه درسی جذاب است و با نگاه جدید ارائه شده، می‌توان سؤالات آن را به خوبی در آزمون نظام مهندسی تحلیل کرد.

در پایان خاطر نشان می‌گردد در این کتاب تلاش بی‌وقفه‌ای درخصوص اطمینان از صحت مطالب، نحوهٔ نگارش و ترسیم اَشکال انجام شده است، اما با این وجود خوانندگان عزیز می‌توانند هرگونه پیشنهاد، تصحیحات و نظرات سازندهٔ خود را به نشانی مؤسسهٔ سری عمران و یا آدرس ایمیل serieomran@yahoo.com ارسال نمایند. در پایان از جناب آقای دکتر محمد آهنگر که باارائهٔ پیشنهادات سازنده نظارت علمی کتاب را بر عهده داشته و همچنین آقایان مهندس مسیح مرادی و مهندس رضا رحمانی که در ویرایش این کتاب مشارکت نموده‌اند، سپاسگزارم.

در ادامه فهرست مهمترین مراجع مورد استفاده در نگارش این کتاب ارائه شده است:

۱. مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان، «طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه»، ویرایش پنجم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۹.

۲. مستوفی نژاد، داود، «سازه‌های بتن‌آرمه براساس روش طرح مقاومت (ACI-318-14) و طراحی در حالات حدی»، ویراست ۲، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ۱۳۹۴.

3. ACI Committee 318-19, “Building code requirements for structural concrete” , American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 2019.

4. Mc Cormac, J.C, Brown, R.H, Ninth Edition, “Design of Reinforced Concrete” , John Wiley & Sons, Inc. New York, 2014.

5. Nilson, A.H., Darwin, D and Dolan, C.W., Fifteenth edition, “Design of Concrete Structures” , McGraw-Hill, USA, 2015.

6. Wight, J.K., MacGregor, J.G., “Reinforced Concrete Mechanics & Design”, Seventh Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2012.

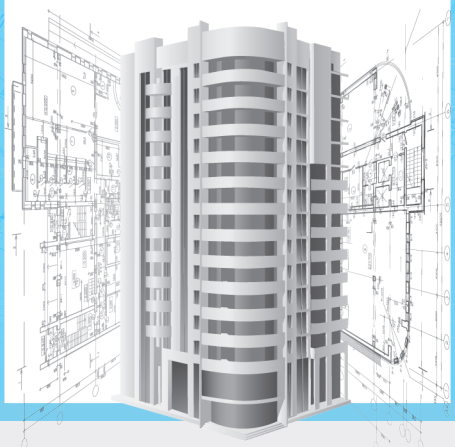
«با آرزوی موفقیت روزافزون شما مهندسین گرامی در آزمون بزرگتر زندگی»

ندا بزرگی - بهمن ۱۳۹۹

سری عمران

پیش فصل

آشنایی کلی با بارها و ترکیب بارها



آشنایی کلی با بارها و ترکیب بارها

قسمت اول: آشنایی با انواع بارهای وارد بر سازه

قسمت دوم: ترکیب‌های بارگذاری

بارهای وارد بر ساختمان یکی از مهمترین عوامل مؤثر بـر طراحـی سـازه بـوده و محاسبه و اعمال این بارها به سازه، به‌عنوان اولین گام در روند طراحـی محـسوب می‌شود. در این گام مهندس طـراح بایـد براسـاس ویژگـی‌هـای سـازه و شـرایط منطقه‌ای که ساختمان در آن قرار می‌گیرد، نوع بارهـای وارد بـر سـازه را تعیـین کرده و مقدار آنها را محاسبه کند. محاسبهٔ مقدار دقیق این بارها برای هـر پـروژه به‌طور جداگانه بسیار وقت‌گیر بـوده و عمـلاً غیـرممکن اسـت. بـا توجـه بـه ایـن موضوع، طراحان سازه برای حل این مشکل از آیین‌نامـه‌هـای بارگـذاری اسـتفاده می‌کنند. در این آیین‌نامه‌ها، با در نظـر گـرفتن یـک ضـریب اطمینـان منطقـی، روش‌هایی برای محاسبهٔ مقدار تقریبی بارهای وارد بر ساختمان ارائه می‌شـود. در کشور عزیزمان ایران، آیین‌نامه‌های بارگذاری سـاختمان‌هـا شـامل مبحـث شـشم مقررات ملّی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ هستند که در سال‌های اخیر، تغییـرات زیادی در آنها ایجاد شده و به‌روزرسـانی شـده‌انـد. در جلـد اول کتـاب بارگـذاری سازه‌ها به‌طور کامل به بررسی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و نحوهٔ محاسبهٔ بار زلزله در انواع سازه‌ها پرداختیم. حال در این کتاب قصد داریم تـا نحـوهٔ محاسـبهٔ سایر بارهای وارد بر سازه (براساس ویرایش سال ۱۳۹۸ مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان که آخرین ویرایش این مبحـث مـی‌باشـد) را بـه شـما آمـوزش دهـیم. براساس این آیین‌نامه‌ها، بارهای زیر باید در طراحی سازه لحاظ شوند:

در ادامه مرور کوتاهی بر هر یک از این بارها خواهیم داشت.

مفهوم بار مرده

به طور کلی بارهای مرده، بارهای ثابتی هستند که ناشی از وزن اجزای ساختمان بوده و در طول عمر سازه، مقدار و محل اثر آنها ثابت است. این بارها معمولاً شامل وزن اجزای دائمی ساختمان از جمله تیرها، ستون‌ها، کف‌ها، دیوارها، راه پله و همچنین وزن تاسیسات و تجهیزات درون ساختمان می‌باشند که در یکی از حالات زیر به سازه وارد می‌شوند:

۱) بار گستردهٔ سطحی، مانند وزن سقف.

۲) بار گستردهٔ خطی، مانند بار دیوارهای پیرامونی سازه که مستقیماً بر روی تیرها قرار گرفته‌اند.

۳) بار متمرکز، نظیر وزن تجهیزات سنگین.

مقدار بار مرده در هر یک از حالات فوق را می‌توان به سادگی و با استفاده از مشخصات هندسه اجزاء سازه و جنس مصالح مورد استفاده محاسبه نمود که در فصل اول این کتاب، نحوهٔ محاسبهٔ بارهای مرده به شما آموزش داده می‌شود.

مفهوم بار زنده

به طور کلی بارهای زنده، به بارهایی گفته می‌شود که به لحاظ مقدار و محل اثر، وضعیت مشخصی ندارند. با توجه به این موضوع، هم محل اثر این بارها می‌تواند تغییر کند و هم مقدار آنها می‌تواند کم و زیاد شود.

چند تذکر:

۱) اصطلاحی که مفهوم بار زنده را در ذهن یک مهندس تداعی می‌کند، عمدتاً در اثر وزن انسان‌هایی است که در سازه رفت و آمد می‌کنند و یا وسایلی که در آن قرار می‌گیرند.

۲) بارهای محیطی (بار باد، برف، زلزله و ...) که در طول عمر سازه به آن وارد می‌شوند و همچنین بارهای حین ساخت، جزء بارهای زنده محسوب نشده و در آیین‌نامه‌ها، هر یک از این بارها به طور جداگانه و با روش‌های خاص خود محاسبه می‌شوند.

۳) مقدار بارهای زنده با توجه به نوع کاربری هر بخش از ساختمان و مقداری که احتمال دارد در طول عمر ساختمان به آن وارد گردد، تعریف می‌شود. تعیین مقدار بار زنده برخلاف بار مرده، به‌طور مستقیم توسط مهندس محاسب امکان پذیر نبوده و باید مقدار این بار توسط مطالعات آماری آیین‌نامه بیان شود. در فصل اول کتاب، شما را با نحوهٔ محاسبهٔ بارهای زنده و نکات بسیار مهم آن آشنا خواهیم کرد.

مفهوم بار برف

به طور کلی بارش برف و انباشته شدن آن بر روی بام، باعث ایجاد بار ثقلی بر روی سازه خواهد شد. این بار ثقلی در شرایط خاص بحرانی شده و حتی می‌تواند باعث تخریب سازه نیز شود. مشهورترین خرابی ناشی از برف در ایران، ریزش سقف ترمینال فرودگاه مهرآباد در سال ۱۳۵۳ می‌باشد که در این حادثهٔ دلخراش، ۲۰ نفر کشته و افراد زیادی زخمی شدند.

قابل ذکر است که محاسبهٔ بار برف وارد بر یک سازه، به عوامل مختلفی از جمله موارد زیر بستگی دارد:

۱) موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی

۲) بافت شهری (تأثیر کنار هم قرار گرفتن ساختمان‌ها)

۳) شکل و کاربری ساختمان

اصولاً با توجه به شرایط آب و هوایی خشک ایران، بار برف در بیشتر نقاط کشو تأثیر چندانی بر روی طراحی سازه نخواهد داشت ولی با این حال، لازم است تأثیرگذاری این بار بر روی سازه حتماً کنترل گردد. در فصل دوم کتاب، به‌طور کامل نحوهٔ محاسبهٔ بار برف در انواع حالت‌ها را شرح می‌دهیم.

مفهوم بار باران

در طول مدت بهره‌برداری از ساختمان، ممکن است زهکش‌های اصلی بام دچار گرفتگی شده و آب باران بر روی بام انباشته شود. وزن ناشی از انباشتگی آب باران بر روی بام، باعث ایجاد نیروهای اضافی در اعضای سازه خواهد شد (برای جلوگیری از انباشت آب، آیین‌نامه تعبیهٔ زهکش ثانویه در بام را توصیه کرده است). جالب است بدانید که با توجه به ویرایش سال ۱۳۹۸ از مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان، مقدار بار ناشی از باران باید محاسبه شود. در فصل چهارم کتاب، نحوهٔ محاسبهٔ بار باران توضیح داده خواهد شد.

بار زلزله

شرح کامل بار زلزله، در جلد اول کتاب بارگذاری سازه‌ها آورده شده است.

مفهوم بار باد

اصولاً باد به علت اختلاف درجهٔ حرارت دو منطقه از زمین ایجاد شده و در طی وزش آن، ذرات هوا از یک نقطه به نقطهٔ دیگر حرکت می‌کنند. بد نیست بدانید که سرعت حرکت باد بستگی به اختلاف درجهٔ حرارت دو منطقه دارد و هرچه این اختلاف بیشتر باشد، سرعت ذرات هوا نیز بیشتر است. هنگامی که ذرات هوا به مانعی (مانند سطح یک ساختمان) برخورد می‌کنند، قسمتی از انرژی جنبشی خود را تبدیل به فشار وارد بر آن سطح کرده و این موضوع باعث می‌شود که به سطح، فشار و در نتیجه نیرو وارد شود. بار باد، در اثر این فشار به ساختمان وارد می‌گردد که مقدار آن به عوامل مختلفی همچون سرعت باد، شکل و ارتفاع ساختمان و ... بستگی دارد.

در طراحی سازه در برابر بارهای جانبی، باید بحرانی‌ترین حالت بارگذاری زلزله و باد در طراحی هر عضو در نظر گرفته شود. در ساختمان‌های متداول، با توجه به وزن زیاد و سطح بادگیر کم، معمولاً بار زلزله کنترل‌کنندهٔ طرح خواهد بود ولی در سوله‌ها که دارای سطح پیرامونی زیاد و وزن کم هستند، طراحی سیستم باربر جانبی برای مقاومت در برابر بار باد خواهد بود.

در فصل سوم کتاب، به‌طور کامل در مورد نحوهٔ محاسبهٔ بار باد در انواع ساختمان‌ها صحبت خواهیم کرد.

مفهوم بار ناشی از فشار جانبی خاک و یا آب زیرزمینی

ساختمانی را در نظر بگیرید که قرار است چند طبقهٔ آن در ترازی پایین‌تر از تراز زمین اجرا شود. در این شرایط اگر عمق مورد نیاز برای اجرای این طبقات زیاد باشد، غالباً از دیوارهای حائل در اطراف ساختمان استفاده می‌شود. این دیوارها می‌توانند به دو شکل یکپارچه (متصل) با سیستم سازه‌ای ساختمان و یا مستقل (جدا) از سازهٔ ساختمان اجرا شوند. در طراحی سازه‌های با دیوار حائل، لازم است برآورد مناسبی از فشارهای جانبی وارد بر دیوار انجام شده و در محاسبات در نظر گرفته شود. دقت کنید که این فشار جانبی می‌تواند ناشی از وزن خاک، سربار روی خاک یا آب زیرزمینی باشد.

این نوع بارگذاری را در فصل چهارم کتاب بررسی می‌کنیم.

مفهوم بار یخ

یخ زدن آب باران، برف و رطوبت موجود در هوا بر روی سطوح سازه، می‌تواند بار قابل توجهی بر روی برخی از سازه‌ها اعمال کند که این موضوع ناشی از وزن یخ ایجاد شده است. البته باید به این نکته دقت کنیم که با یخ زدن سطح سازه، سطح بادگیر آن‌ها افزایش یافته و تأثیر باد بر روی این سطوح نیز افزایش خواهد یافت.

به‌طور کلی سازه‌ها و اجزای حساس به یخ شامل سازه‌های مشبک، لوله‌ای، کابل‌ها و پایه‌های آن‌ها، سازه‌های شهربازی، نرده، تابلو، علائم و ... می‌باشند که باید در طراحی آن‌ها، اثر وزن یخ و تغییر ایجاد شده بر روی نیروی ناشی از باد (به دلیل وجود یخ) در نظر گرفته شود.

در فصل چهارم کتاب به بررسی کامل این بار خواهیم پرداخت.

مفهوم بار سیل

برخورد امواج ناشی از سیل به ساختمان و یا دیواره‌های اطراف آن، باعث اعمال نیرو به سازه خواهد شد که این موضوع، می‌تواند خسارت‌های فراوانی را به سازه وارد کند. این نیروها، ناشی از بارهای هیدرواستاتیکی (فشار ستون آب) و هیدرودینامیکی (نیروی ناشی از برخورد امواج) می‌باشند. درصورتی‌که براساس آمار هواشناسی موجود و مطالعات هیدرولوژیکی و مهندسی آب، امکان وقوع سیل در منطقه‌ای باشد، باید تمهیدات خاصی را برای آن لحاظ کرده و بار آن را در نظر بگیریم. در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان، ضوابط کلی برای در نظر گرفتن اثر این بار ارائه شده است که در فصل چهارم کتاب، آنها را مرور می‌کنیم.

ضریب اهمیت بارهای وارد بر سازه

اصولاً در آیین‌نامه‌های بارگذاری دنیا، کاربری ساختمان در روند محاسبهٔ مقدار بارها تأثیرگذار است که این موضوع، به دلیل عملکرد مورد انتظار آیین‌نامه از سازه در برابر بار وارد بر آن می‌باشد. به عنوان مثال، سازه یک بیمارستان باید به گونه‌ای طراحی شود که در برابر زلزله آسیب جدی نبیند و قادر به خدمت‌رسانی بی‌وقفه پس از زلزله باشد. واضح است در صورتی‌که بخواهیم همهٔ ساختمان‌ها را به منظور این عملکرد طراحی کنیم، اجرای سازه‌های متداول بسیار غیراقتصادی خواهد شد.

در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان استاندارد ۲۸۰۰، این موضوع با استفاده از ضریب اهمیت در نظر گرفته شده است (البته ضوابط دیگری نیز به همین منظور وجود دارد). در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان، سازه‌ها از نظر اهمیت در خدمت‌رسانی به چهار گروه، مطابق جدول صفحهٔ بعد تقسیم می‌شوند:

جدول ۱: گروه خطرپذیری ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها برای بار باد، برف، زلزله و یخ

گروه خطرپذیری	نوع کاربری ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها
۱	ساختمان‌ها و سایر سازه‌هایی که به عنوان تأسیسات ضروری طراحی می‌گردند و وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها، به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود مانند بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز و تأسیسات آبرسانی، نیروگاه‌ها و تأسیسات برق‌رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تأسیسات انتظامی، مراکز کمک‌رسانی و به طور کلی تمام ساختمان‌هایی که استفاده از آن‌ها در امداد و نجات موثر باشد. ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها و تاسیسات صنعتی که خرابی آن‌ها، موجب انتشار گستردهٔ مواد سمی و مضر برای محیط‌زیست در کوتاه‌مدت و یا درازمدت خواهد گردید. هرگونه ساختمان یا تاسیساتی که سازنده، پردازنده، فروشنده یا ترتیب‌دهنده مقادیری از مواد شیمیایی یا زباله‌های بسیار خطرناک با توجه به ضوابط قانونی موجود باشند که انتشار این مواد منجر به خطری برای عموم شود، مشمول این گروه خطرپذیری می‌باشد. سایر ساختمان‌ها و سیستم‌های سازه‌ای که برای حفظ عملکرد ساختمان‌های گروه خطرپذیری ۱ مورد نیاز می‌باشند نیز جزء گروه (۱) محسوب می‌شوند.
۲	ساختمان‌ها و سایر سازه‌هایی که خرابی آن‌ها منجر به تلفات جانی قابل توجه شود مانند مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن‌های اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری یا هر فضای سرپوشیده‌ای که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر زیر یک سقف باشد. ساختمان‌ها و سایر سازه‌هایی که جزو موارد گروه خطرپذیری ۱ نمی‌باشند لیکن خرابی آن‌ها خسارت اقتصادی قابل توجهی داشته یا باعث از دست رفتن ثروت ملّی می‌گردد مانند موزه‌ها، کتابخانه‌ها و به طور کلی مراکزی که در آن‌ها اسناد و مدارک ملّی و یا آثار پرارزش نگهداری می‌شود. ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها و تاسیسات صنعتی که جزو موارد گروه خطرپذیری ۱ نمی باشند لیکن خرابی آن‌ها موجب آلودگی محیط‌زیست و یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود مانند پالایشگاه‌ها، مراکز گازرسانی، انبارهای سوخت و یا هرگونه ساختمان یا تاسیساتی که سازنده، پردازنده، فروشنده یا ترتیب‌دهنده مقادیری از موادی مانند سوخت‌های خطرناک، مواد شیمیایی خطرناک، زباله‌های خطرناک و یا مواد منفجره باشند.
۳	کلیهٔ ساختمان‌ها و سازه‌های مشمول این مبحث که جزو ساختمان‌های عنوان شده در سه گروه خطرپذیری دیگر نباشند، مانند ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های طبقاتی، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های صنعتی و غیره.
۴	ساختمان‌ها و سایر سازه‌هایی که خرابی آن‌ها منجر به تلفات جانی و خسارات مالی نسبتاً کم خواهد شد مانند انبارهای کشاورزی و سالن‌های مرغداری. ساختمان‌ها و سایر سازه‌های موقتی که مدت بهره‌برداری از آن‌ها کمتر از دو سال است.

بر مبنای جدول (۶-۱-۱) در صفحهٔ ۸

بر مبنای جدول (۷-۱-۱) در صفحهٔ ۸

حال براساس این تقسیم‌بندی، ضرایب اهمیت بارهای مختلف به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۲: ضریب اهمیت مربوط به گروه‌بندی خطرپذیری ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها

گروه خطرپذیری	ضرایب اهمیت	
	بار زلزله	بار باد، یخ و برف
۱	۱/۴	۱/۲
۲	۱/۲	۱/۱
۳	۱	۱
۴	۰/۸	۰/۸

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌کنید، ضریب اهمیت طراحی برای بارهای باد، یخ و برف در ویرایش ۱۳۹۸ مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان یکسان است.

تمرین ۱: ضریب اهمیت بار زلزله، برای سازه‌های ساخته شده جهت تجهیز یک کارگاه ساختمانی کدام است؟ (طول مدت اجرای پروژه ۱/۵ سال تخمین زده شده است.)

۱) ۱/۴ ۲) ۱/۲ ۳) ۱ ۴) ۰/۸

حل: براساس جدول (۱)، سازه‌هایی که مدت بهره‌برداری آنها کمتر از ۲ سال می‌باشد، در گروه خطرپذیری ۴ قرار می‌گیرند. بنابراین براساس جدول (۲) ضریب اهمیت این سازه‌ها در برابر بار زلزله ۰/۸ می‌باشد و گزینهٔ ۴ صحیح است.

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

در این قسمت از پیش فصل، به بررسی حالات مختلف بارگذاری شامل حالت حدی مقاومت، حالت حدی بهره‌برداری و روش تنش مجاز می‌پردازیم و ترکیبات بارگذاری را برای هر حالت معرفی می‌کنیم. این روابط در تمام فصل‌های آینده کاربرد زیادی دارند.

B-۱- مفاهیم اولیه

در طراحی یک سازه، مهم‌ترین هدف، تأمین ایمنی در هنگام اعمال بارهای نهایی و تضمین عملکرد سازه در زمان بهره‌برداری از آن می‌باشد. برای تأمین این هدف، در گام نخست باید مقاومت اعضای سازه و هم‌چنین بارهای وارد بر سازه را شناسایی کنیم. واضح است که عوامل نامشخص و خطاهای احتمالی فراوانی در مراحل تحلیل، طراحی و ساخت سازه‌ها وجود دارند که از پیش‌بینی دقیق مقاومت و بارگذاری سازه جلوگیری می‌کنند. بنابراین برای تأمین ایمنی سازه باید از ضرایب اطمینان مناسب برای مقاومت و بار وارد بر سازه استفاده کنیم. منطقی است که سازه‌های با کاربری‌های مختلف، نیازمند حاشیهٔ ایمنی متفاوت هستند برای مثال با وقوع زلزله نباید وقفه‌ای در بهره‌برداری از یک بیمارستان ایجاد شود و در صورت تخریب آن به‌صورت غیرمستقیم تلفات انسانی افزایش خواهد یافت. در نتیجه این‌گونه ساختمان‌ها نیازمند حاشیه ایمنی بالایی هستند. در مقابل تخریب یک انبار در اثر زلزله خسارت جانی و مالی کمی را در پی خواهد داشت و نیازی به در نظر گرفتن حاشیه ایمنی بالا نیست.

در این قسمت از فصل قصد داریم در مورد ترکیبات بارگذاری سازه در روش‌های مختلف طراحی بحث کنیم.

برای این منظور فرض کنید در یک ساختمان، مقاومت سازه برابر R و بار وارد بر آن برابر Q باشد، برای تأمین ایمنی در مقابل فروریزش سازه و تضمین عملکرد مناسب، باید شرط مقابل برقرار گردد:

$$R \geq Q$$

همان‌طور که می‌دانیم، مقاومت R و بارهای وارده Q دارای طبیعت احتمالاتی بوده و عوامل نامشخص و خطاهای احتمالی فراوانی در تحلیل، طراحی و ساخت سازه‌ها وجود دارند که بر روی این مقادیر تأثیرگذار هستند. برخی از این عوامل عبارت‌اند از:

۱) مقاومت واقعی مصالحی که در کارخانه تولید می‌شود، ممکن است با مقادیر فرض شده در محاسبات متفاوت باشد.

۲) رفتار واقعی سازه ممکن است با فرض‌هایی که در تحلیل سازه در نظر گرفته شده است متفاوت باشد.

۳) بارهایی که در عمل به سازه وارد می‌شوند و توزیع واقعی آن‌ها، ممکن است با آن‌چه که در بارگذاری سازه فرض شده است متفاوت باشند.

زیر شاخه‌های قسمت دوم:
B-۱- مفاهیم اولیه
B-۲- ترکیب بارها

بنابراین لازم است ضرایب اطمینان در دو طرف معادله $R \geq Q$ در نظر گرفته شود تا ایمنی سازه به‌طور مناسبی تعیین گردد.

در هر روش طراحی، ضرایب خاصی برای مقاومت اعضاء و بارهای وارد به آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. در ادامه به بررسی ترکیب بارها در روش‌های مختلف طراحی می‌پردازیم.

معرفی علائم

علائم مورد استفاده در معرفی ترکیبات بارگذاری در ادامهٔ بحث عبارتند از:

A_k	بار یا اثر ناشی از حادثه غیرعادی	D	بار مرده
E	بار زلزله طرح	F	بار ناشی از سیال با فشار و ارتفاع حداکثر مشخص
H	بار ناشی از فشار جانبی خاک، فشار آب زیرزمینی یا فشار مواد انباشته	L	بار زندهٔ طبقات به جز بام
R	بار باران	S	بار برف
W	بار باد	W_i	بار باد وارد بر اعضاء با وجود یخ
D_i	وزن یخ	F_a	بار سیل
$L_\circ$	حداقل بار زندهٔ گسترده یکنواخت	T	بار خود کرنشی از قبیل اثرات تغییرات دما، نشست پایه‌ها و وارفتگی
L_r	بار زنده بام	W_{ser}	بار باد سطح بهره‌برداری

B-۲- ترکیب بارها

در این قسمت از فصل، می‌خواهیم ترکیب بارها را در انواع روش‌های طراحی بررسی کنیم:

ترکیب بارها در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت

در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت برای سازه‌های فولادی و بتنی، از ترکیب بارهای زیر استفاده می‌کنیم. سازه‌ها، اعضای آن‌ها و شالوده باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که مقاومت طراحی آن‌ها، بزرگتر و یا برابر با اثرات ناشی از ترکیب بارهای ضریب‌دار زیر باشند:

۱) $1/4D$

۲) $1/2D + 1/6L + 0/5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۳) $1/2D + 1/6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0/5(1/6W)]$

۴) $1/2D + 1/6W + L + 0/5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۵) $1/2D + 1/0E + L + 0/2S$

۶) $0/9D + 1/6W$

۷) $0/9D + 1/0E$

بر مبنای بند (۶-۲-۳-۱) در صفحهٔ ۱۰

موارد زیر در ترکیب بارهای این بند باید در نظر گرفته شود:

الف) ضرایب بار مربوط به L در ترکیب بارهای ۳، ۴ و ۵ را برای کاربری‌هایی که بار L_o (طبق جدول ۲ در فصل یک) آنها کمتر از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع است، به استثناء کف پارکینگ‌ها یا محل‌های اجتماع عمومی می‌توان برابر با ۰/۵ منظور نمود. مشروط بر آنکه طبق ضوابط بند ۶-۵-۵ در قسمت پنجم فصل یک، کاهش بارهای زنده در محاسبهٔ بار L منظور نشده باشد.

ب) در طراحی سازه‌های پیش‌تنیده، اثر پیش‌تنیدگی باید با ضریب واحد یا ضریب بار مرده در ترکیب بارها وارد شود و هر کدام که اثر نامساعدتری دارند، در طراحی لحاظ شود.

پ) در مواردی که بار سیال (F) بر سازه وارد می‌شود، اثر این بار باید با ضرایب باری همانند ضریب بار مرده (D) در ترکیب بارهای ۱ تا ۵ و ۷ منظور شوند.

ت) در صورت وجود فشار جانبی خاک و فشار آب زیرزمینی یا مواد انباشته (H) اثر آنها را باید به‌صورت زیر منظور نمود:

ت-۱) اگر اثر این بار در جهت افزودن به اثرات دیگر بارها باشد، اثر بار H باید با ضریب ۱/۶ در ترکیب بارها منظور شود.

ت-۲) اگر اثر این بار در جهت کاهش اثرات دیگر بارها باشد، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰/۹ در ترکیب بارها منظور شود و در بقیه موارد باید از اثر بار H صرف‌نظر گردد.

ث) اگر طبق فصل ۶-۶ در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان (فصل ۴ کتاب حاضر)، در نظر گرفتن بار سیل برای سازه لازم باشد، علاوه بر ترکیب‌های ارائه شده، باید دو ترکیب بار اضافی با جایگزینی $1/6W$ به جای $1/6W + 2/0 F_a$ در ترکیب‌های ۴ و ۶ نیز در نظر گرفته شود.

ج) در صورتی‌که بر طبق فصل ۶-۹ در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان (فصل ۴ کتاب حاضر)، در نظر گرفتن بار یخ جوی و بار باد وارده بر یخ بر روی سازه الزامی باشد، ترکیب بارهای زیر در طراحی سازه باید منظور شود:

ج-۱) عبارت (R یا S یا L_r) ۰/۵ در ترکیب بار شماره ۲، باید با عبارت $0/2 D_i + 0/5 S$ جایگزین شود.

ج-۲) عبارت (R یا S یا L_r) ۰/۵ $+ 1/6W$ در ترکیب بار شماره ۴، باید با عبارت $D_i + 1/6W_i + 0/5 S$ جایگزین شود.

ج-۳) عبارت $1/6W$ در ترکیب بار شماره ۶، باید با عبارت $D_i + 1/6W_i$ جایگزین شود.

چ) در مواردی که اثر بارهای خودکرنشی وجود داشته باشد، علاوه بر ترکیب بارهای ارائه شده، دو ترکیب بار زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

۱) $1/2 D + 0/5 L + 0/5 (L_r \text{ یا } S) + 1/2 T$

۲) $1/2 D + 1/6 L + 1/6 (L_r \text{ یا } S) + T$

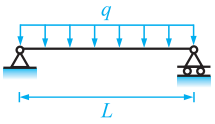
ح) در مواردی که بر طبق ضوابط بند ۶-۱۱-۱۴ در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان، کنترل سازه برای زلزلهٔ سطح بهره‌برداری الزامی باشد، مقاومت سازه، اعضاء و اجزای آن باید برای ترکیب بار زیر نیز بررسی شود. در این حالت در محاسبهٔ مقاومت طراحی اعضاء، ضوابط بند فوق‌الذکر و استاندارد ۲۸۰۰ ایران باید رعایت گردد.

$D + 0/5 L + 0/5 (L_r \text{ یا } S) + E_{ser}$

خ) در ترکیب بار شماره ۳، باید هر دو حالت اثر بار زنده و باد بررسی شده و نامساعدترین حالت در طراحی منظور شود.

در ادامه با حل چند تمرین، درک بهتری بر روی ترکیب بارهای ارائه شده پیدا خواهید کرد.

تمرین ۲: بر روی یک تیر و دو سر ساده به طول ۱۲ متر مربوط به بام با پوشش سبک بار مرده $۱/۸\ kN/m$، بار زنده $۳\ kN/m$، بار برف $۳\ kN/m$ و بار باد $۷/۸۶\ kN/m$ (مکش) محاسبه شده است. براساس روش ضرایب بار و مقاومت، حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده در این تیر را بیابید.



حل: با توجه به بارهای داده شده (D، L_r، S و W) باید ترکیب بارهای زیر را در نظر بگیرید:

$q_D = ۱/۸\ kN/m$, $q_{L_r} = ۳\ kN/m\ (q_L = ۰)$

$q_S = ۳\ kN/m$, $q_w = -۷/۸۶\ kN/m$ (مکش باد رو به بالا است)

ترکیب بار (۱): $۱/۴D \Rightarrow q_u = ۱/۴ \times ۱/۸ = ۲/۵۲\ kN/m$

ترکیب بار (۲): $۱/۲D + ۱/۶L + ۰/۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

$\Rightarrow q_u = ۱/۲ \times ۱/۸ + ۱/۶ \times ۰ + ۰/۵ \times max(۳, ۳, ۰) = ۲/۱۶ + ۰ + ۱/۵ = ۳/۶۶\ kN/m$

ترکیب بار (۳): $۱/۲D + ۱/۶(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + max(L \text{ یا } ۰/۵ \times (۱/۶)W)$

$\Rightarrow q_u = ۱/۲ \times ۱/۸ + ۱/۶ \times max\{۳, ۳, ۰\} + max\{۰, ۰/۵ \times ۱/۶ \times (-۷/۸۶)\} = ۲/۱۶ + ۴/۸ + ۰ = ۶/۹۶\ kN/m$

ترکیب بار (۴): $۱/۲D + ۱/۶W + L + ۰/۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

$\Rightarrow q_u = ۱/۲ \times ۱/۸ + ۱/۶ \times (-۷/۸۶) + ۰ + ۰/۵ \times max\{۳, ۳, ۰\} = ۲/۱۶ - ۱۲/۵۷۶ + ۰ + ۱/۵ = -۸/۹۱۶\ kN/m$

ترکیب بار (۶): $۰/۹D + ۱/۶W \Rightarrow q_u = ۰/۹ \times ۱/۸ + ۱/۶ \times (-۷/۸۶) = ۱/۶۲ - ۱۲/۵۷۶ = -۱۰/۹۵۶\ kN/m$

$\Rightarrow q_u = max\{q_{u۱}, q_{u۲}, q_{u۳}, q_{u۴}, q_{u۶}\} = -۱۰/۹۵۶\ kN/m$

در نهایت لنگر خمشی حداکثر در این تیر برابر می‌شود با:

در تیر دو سر ساده : $M_u = M_{max} = \frac{q_u l^۲}{۸} = \frac{۱۰/۹۵۶ \times ۱۲^۲}{۸} = ۱۹۷/۲\ kN.m$

تمرین ۳: در یک تیر ورق فولادی، لنگرهای حاصل از بار مرده، زنده و زلزله به‌ترتیب $۲۰۰\ kN.m$، $۱۵۰\ kN.m$ و $۳۰۰\ kN.m$ می‌باشد. این بارها بدون ضریب بوده و محاسبات زلزله براساس ویرایش چهارم استاندارد انجام گرفته است. حداکثر لنگر خمشی جهت طراحی این تیر را بیابید.

حل: با توجه به بارهای داده شده (D، L و E) باید ترکیب بارهای زیر را در نظر بگیرید:

ترکیب بار (۱): $M_u = ۱/۴M_D = ۱/۴ \times ۲۰۰ = ۲۸۰\ kN.m$

ترکیب بار (۲): $M_u = ۱/۲M_D + ۱/۶M_L = ۱/۲ \times ۲۰۰ + ۱/۶ \times ۱۵۰ = ۴۸۰\ kN.m$

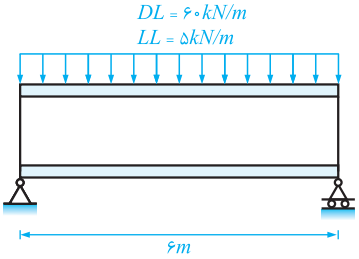
ترکیب بار (۵): $M_u = ۱/۲M_D + M_E + M_L = ۱/۲ \times ۲۰۰ + ۳۰۰ + ۱۵۰ = ۶۹۰\ kN.m$

ترکیب بار (۷): $M_u = ۰/۹M_D + M_E = ۰/۹ \times ۲۰۰ + ۳۰۰ = ۴۸۰\ kN.m$

در نهایت لنگر خمشی حداکثر در این تیر برابر می‌شود با:

$M_u = max\{M_{u۱}, M_{u۲}, M_{u۵}, M_{u۷}\} = ۶۹۰\ kN.m$

تمرین ۴: در تیر فولادی شکل زیر با مقطع IPE ۴۵۰ و در طراحی به روش LRFD، حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ از وزن تیر صرف‌نظر شود و تیر در طول خود دارای مهار جانبی کافی است. از مؤلفهٔ قائم زلزله صرف‌نظر می‌شود. (محاسبات - بهمن ۹۷)



$F_y = ۲۴۰\ MPa$

$E = ۲\times۱۰^{۵}\ MPa$

۱) $۳۷۸\ kN.m$

۲) $۳۶۰\ kN.m$

۳) $۲۹۳\ kN.m$

۴) $۴۰۸\ kN.m$

حل: با توجه به مفاهیم طراحی، مقاومت خمشی مورد نیاز تیر در واقع همان لنگر خمشی حداکثر ایجاد شده در تیر است که از ترکیب بارهای ضریب‌دار محاسبه می‌شود. چون فقط بارهای مرده و زنده داده شده‌اند، از دو ترکیب بار مربوط به بارهای مرده و زنده استفاده می‌کنیم:

ترکیب بار (۱) : $q_{u۱} = ۱/۴D = ۱/۴\times۶۰ = ۸۴\ kN/m$

ترکیب بار (۲) : $q_{u۲} = ۱/۲D + ۱/۶L = ۱/۲\times۶۰ + ۱/۶\times۵ = ۸۰\ kN/m$

$q_u = max\ \{q_{u۱}, q_{u۲}\} = max\ \{۸۴, ۸۰\} = ۸۴\ kN/m$

در نهایت حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز این تیر برابر می‌شود با:

$$M_u = \frac{q_u L^۲}{۸} = \frac{۸۴\times۶^۲}{۸} = ۳۷۸\ kN.m$$

بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تمرین ۵: در صورتی که نیروی فشاری یک ستون ساختمان تحت بارهای مرده ۱۰۹ تن، زنده طبقات ۴۵ تن، زنده بام ۱۹ تن و بار برف ۲۰ تن باشد، ترکیب بارگذاری کنترل کننده را مشخص نموده و نیروی فشاری طراحی این ستون را بیابید.

حل: با توجه به بارهای داده شده (D ، L ، L_r و S)، باید ترکیب‌های بار زیر را در نظر بگیریم:

ترکیب بار (۱) : $۱/۴\ D = ۱/۴(۱۰۹) = ۱۵۲/۶\ ton$

ترکیب بار (۲) : $۱/۲D + ۱/۶L + ۰/۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) = ۱/۲\times۱۰۹ + ۱/۶\times۴۵ + ۰/۵\times۲۰ = ۲۱۲/۸\ ton$

($S = ۲۰\ ton > L_r = ۱۹\ ton$ ؛ R: داده نشده)

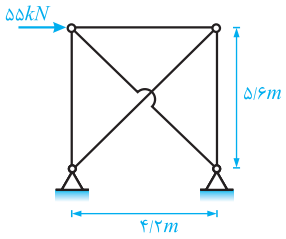
ترکیب بار (۳) : $۱/۲D + ۱/۶(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } ۰/۵(۱/۶W)] = ۱/۲\times۱۰۹ + ۱/۶\times۲۰ + ۴۵ = ۲۰۷/۸\ ton$

ترکیب بار (۴): $۱/۲D + ۱/۶W + L + ۰/۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) = ۱/۲\times۱۰۹ + ۴۵ + ۰/۵\times۲۰ = ۱۸۵/۸\ ton$

در نهایت بار طراحی این ستون برابر می‌شود با:

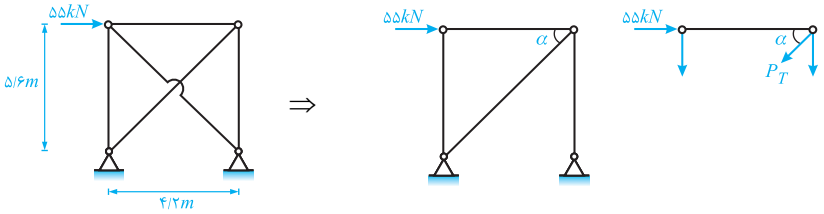
$P_u = max\ \{P_{u۱}, P_{u۲}, P_{u۳}, P_{u۴}\} = P_{u۲} = ۲۱۲\ ton$

تمرین ۶: تحلیل یک سالن صنعتی نشان می‌دهد که بر قاب‌های انتهایی مهاربندی شده مطابق شکل، نیروی $55\,kN$ ناشی از تغییرات حرارتی (بدون ضریب بار) اعمال می‌شود. چنانچه مهاربندها فقط قادر به تحمل کشش باشند، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت مورد نیاز (R_u) آنها برای این بارگذاری به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (مهاسبات - مهر ۹۸)



۱) $33\,kN$
۲) $55\,kN$
۳) $92\,kN$
۴) $110\,kN$

حل: با فرض رفتار کششی برای مهاربندها، مهاربند فشاری را حذف کرده و نیروی مهاربند کششی را به‌دست می‌آوریم:



$$\sum F_x = 0 \Rightarrow P_T \times \cos\alpha = 55 \Rightarrow P_T = \frac{55}{\cos\alpha} = \frac{55}{\frac{4/2}{\sqrt{4/2^2 + 5/6^2}}} = 91/6\,kN$$

در انتها با توجه به ترکیب بار شمارهٔ (۱) در مورد (چ) از توضیحات داده شده، برای لحاظ کردن اثر حرارت داریم (تنها اثر T در طراحی مهاربند باید لحاظ شود):

ترکیب بار شمارهٔ (۱) از مورد (چ): $\begin{cases} 1/2\,D + 0/5\,L + 0/5\,(L_r \text{ یا } S) + 1/2\,T \\ P_T = 91/6\,kN \end{cases} \Rightarrow T_u = 1/2 \times 91/6 = 110\,kN$

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

ترکیب بارها در طراحی به روش تنش مجاز یا مقاومت مجاز

در این روش یک عضو سازه‌ای به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که مقادیر تنش‌ها و یا نیروهای ایجاد شده ناشی از بارهای بهره‌برداری (بارهای سرویس بدون ضریب) از مقادیر مجاز تجاوز نکند. این مقادیر، از روی بحرانی‌ترین ترکیب بار از بین موارد زیر محاسبه می‌شود:

۱) D
۲) $D + L$
۳) $D + (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
۴) $D + 0/75L + 0/75(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
۵) $D + W$
۶) $D + 0/75L + 0/75W + 0/75(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
۷) $D + 0/7E$
۸) $D + 0/75\,L + 0/75\,(0/7\,E) + 0/75\,S$
۹) $0/6D + W$
۱۰) $0/6D + 0/7E$

بر مبنای بند ۶-۴-۳-۳ در مبحث ۶ و ۱۲ و ۱۳

در ترکیب بارهای فوق باید به نکات زیر توجه داشته باشیم:

الف) در طراحی سازه‌های پیش‌تنیده، اثر پیش‌تنیدگی باید با ضریب واحد یا ضریب بار مرده در ترکیب بارها وارد شود و هر کدام که اثر نامساعدتری دارند، در طراحی لحاظ شود.

ب) در ترکیب بارهای ارائه شده در این مبحث، افزایش تنش مجاز نباید انجام شود.

پ) در مواردی که بار سیال (F) بر سازه وارد می‌شود، اثر این بار باید با ضریب باری همانند ضریب بار مرده، (D)، در ترکیب بارهای ۱ تا ۸ و ۱۰ منظور شوند.

ت) در صورت وجود فشار جانبی خاک و فشار آب زیرزمینی یا مواد انباشته، H، اثر آنها را باید به‌صورت زیر منظور نمود:

ت-۱) اگر اثر این بار در جهت افزودن به اثرات دیگر بارها باشد، اثر بار H باید با ضریب ۱/۰ در ترکیب بارها منظور شود.

ت-۲) اگر اثر این بار در جهت کاهش اثرات دیگر بارها باشد، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰/۶ در ترکیب بارها منظور شود و در بقیهٔ موارد باید از اثر بار H صرف‌نظر گردد.

ث) اگر طبق فصل ۶-۶ در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان (فصل ۴ کتاب حاضر)، در نظر گرفتن بار سیل برای سازه لازم باشد، علاوه بر ترکیب‌های ارائه شده فوق، باید ترکیب بارهای اضافی ۵ ، ۶ و ۹ را با اضافه کردن ۱/۵ F_a به عبارت آنها در نظر گرفت.

ج) در صورتی که بر طبق فصل ۶-۹ در مبحث ششم مقررات ملّی ساختمان (فصل ۴ کتاب حاضر)، در نظر گرفتن بار یخ جوی و بار باد وارده بر یخ بر روی سازه الزامی باشد، ترکیب بارهای زیر در طراحی سازه باید منظور شوند:

ج-۱) عبارت $0/7\,D_i$، باید به ترکیب بار شماره ۲ اضافه شود.

ج-۲) عبارت (R یا S یا L_r) در ترکیب بار شماره ۳، باید با عبارت $0/7\,D_i + 1/1W_i + S$ جایگزین شود.

ج-۳) عبارت W در ترکیب بار شماره ۹، باید با عبارت $0/7\,D_i + 1/1W_i$ جایگزین شود.

چ) در مواردی که اثر بارهای خودکرنشی وجود داشته باشد، علاوه بر ترکیب بارهای ارائه شده، دو ترکیب بار زیر نیز باید در نظر گرفته شوند:

۱) $D + T$

۲) $D + 0/75[L + (L_r \text{ یا } S) + T]$

ح) در مواردی که بر طبق توضیحات جلد اول کتاب، کنترل سازه برای زلزله سطح بهره‌برداری الزامی باشد، تلاش‌های ایجاد شده در اعضاء و اجزاء ساختمان باید برای ترکیب بار زیر نیز بررسی شود. در این حالت تنش یا مقاومت مجاز اعضاء می‌تواند بر طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران افزایش یابد.

$D + 0/5\,L + 0/5\,(L_r \text{ یا } S) + E_{ser}$

حالت حدی بهره‌برداری

یکی از شرایط مهمی که در طراحی سازه باید در نظر بگیریم عملکرد مناسب سازه در هنگام استفاده و بهره‌برداری است. برای مثال در صورتی‌که کف ساختمان در اثر حرکت افراد دچار لرزش گردد، حس نامطلوبی در ساکنین ساختمان ایجاد خواهد کرد. در این حالت اگرچه ممکن است سازه صدمه ندیده و یا خراب نشود ولی از لحاظ خدمت‌پذیری نامطلوب فرض خواهد شد. برای حالت‌های بهره‌برداری، ترکیب بارهای زیر در آیین‌نامه مبحث ششم ارائه شده است:

تغییر شکل قائم (افتادگی):

تغییر شکل‌های قائم (افتادگی) اعضای کف‌ها و سقف‌ها تحت ترکیب بارهای زیر نباید از مقادیر مجاز آیین‌نامه‌های طراحی تجاوز نماید. در صورتی‌که در مباحث طراحی مقررات ملّی ساختمان یا سایر آیین‌نامه‌های طراحی مرتبط، استفاده از ضرایب بار کمتر از واحد پیشنهاد شده باشد، می‌توان از آن ضرایب به جای واحد در ترکیب بارها استفاده نمود.

۱) D

۲) L

۳) $D+L$

۴) $D+(L_r \text{ یا } ۰/۵S)$

- در طراحی سازه‌های پیش‌تنیده، اثر پیش‌تنیدگی باید مانند اثر بار مرده در ترکیب بارها وارد شود.
- در صورت وجود بار سیل یا فشار مواد انباشته، باید اثرات آنها با ضریب یک در ترکیب بارهای فوق لحاظ گردد.

تغییر مکان جانبی نسبی:

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات قاب‌ها و دیوارها و سایر اعضای قائم ساختمان‌ها، تحت ترکیب بارهای زیر نباید از مقادیر مجاز آیین‌نامه‌های طراحی تجاوز نماید.

۱) $D+۰/۵L+۰/۵(L_r \text{ یا } S)+W_{ser}$

۲) $D+۰/۵L+۰/۵(L_r \text{ یا } S)+E_{ser}$

- در صورت وجود بار سیال، فشار جانبی خاک، فشار آب زیرزمینی یا مواد انباشته، باید اثرات آنها با ضریب یک در ترکیب بارهای فوق لحاظ گردد.

ارتعاش سازه:

کف‌هایی که دارای دهانه‌های بزرگ و فاقد هرگونه تیغه‌بندی یا منابع دیگر استهلاک انرژی هستند، ممکن است در معرض ارتعاشات ناشی از عبور و مرور ساکنان قرار گیرند. برای جلوگیری از این امر لازم است این کف‌ها از سختی کافی بر طبق آیین‌نامه‌های طراحی برخوردار باشند. همچنین آن دسته از تجهیزات مکانیکی موجود در ساختمان‌ها که می‌توانند ارتعاشات نامطلوب در ساختمان ایجاد کنند، باید به‌صورت مناسب از محل تکیه‌گاه‌ها جداسازی شوند تا این اثرات به حداقل برسد.

سیستم‌های سازه‌ای ساختمان‌های بلند و پوشش‌های سبک و انعطاف‌پذیر ساختمان‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که ارتعاشات ناشی از باد در آنها موجب سلب آرامش ساکنان نشود.

تغییر مکان ناشی از بارهای خودکرنشی:

تغییر مکان‌های ناشی از بارهای خودکرنشی در سازه، تحت ترکیب بارهای زیر نباید بهره‌برداری مناسب از ساختمان را مختل نماید.

۱) $D+T$

۲) $D+۰/۷۵[L+(L_r \text{ یا } S)+T]$

بر مبنای بند (۶-۲-۳-۵) در صفحهٔ ۱۵

ترکیب بارها برای حوادث غیرعادی

کاربرد:

در صورت درخواست کارفرما یا لزوم آن در دیگر مباحث مقررات ملّی ساختمان، باید مقاومت و پایداری سازه برای اطمینان از توانایی سازه در تحمل اثرات بارهای غیرعادی (با احتمال وقوع کم) مانند آتش، انفجار، سقوط اجسام و ضربه وسایل نقلیه بدون ایجاد خرابی بیش از انتظار بررسی شود. رعایت مفاد مبحث ۲۱ مقررات ملّی ساختمان در مورد ساختمان‌های مشمول آن مبحث نیز ضروری است.

ظرفیت:

به منظور کنترل ظرفیت یک سازه یا عضو سازه‌ای به روش ضرایب بار و مقاومت در تحمل اثر یک حادثه غیرعادی، ترکیب بار زیر باید منظور شود:

$$(۰/۹ \text{ یا } ۱/۲)\, D + A_k + ۰/۵\, L + ۰/۲\, S$$

A_k اثر ناشی از حادثه غیرعادی می‌باشد.

ظرفیت باقیمانده:

جهت کنترل ظرفیت باقیمانده باربری سازه یا عضو سازه‌ای به روش ضرایب بار و مقاومت بعد از وقوع حادثه خسارت‌زا، اعضاء باربر باید به‌صورت فرضی حذف شوند و ظرفیت سازه صدمه دیده تحت اثر ترکیب بار ثقلی زیر ارزیابی گردد:

$$(۰/۹ \text{ یا } ۱/۲)\, D + ۰/۵\, L + ۰/۲\, (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$$

اعضاء منتخب باربری که حذف می‌شوند، باید با روشی منطقی توسط مهندس طراحی با تجربه مشخص گردد.

ملاحظات پایداری:

الزامات پایداری کل سازه و هر کدام از اعضاء آن، باید با استفاده از روشی که اثرات مرتبه دوم (اثرات $P-\Delta$) را لحاظ می‌کند، مورد ارزیابی واقع شود.

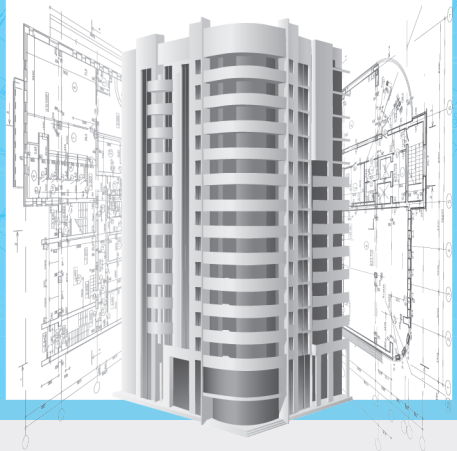
سری عمران

بارگذاری سازه‌ها

(مبحث ششم)

فصل اول

بارهای مرده و زنده



- بارهای مرده و زنده
  - قسمت اول: روند توزیع بارهای ثقلی وارد بر کف‌ها
  - قسمت دوم: بررسی دقیق‌تر بارهای مرده
  - قسمت سوم: بررسی دقیق‌تر بارهای زنده
  - قسمت چهارم: بار معادل دیوارهای تقسیم‌کننده
  - قسمت پنجم: کاهش بار زنده
  - قسمت ششم: بارهای زنده وارد بر اجزاء متصل به سازه
  - قسمت هفتم: بارگذاری زنده دینامیکی

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

اصولاً در هر سازه‌ای هدف از طراحی اعضاء، تأمین مسیری ایمن برای انتقال بارهای ثقلی و جانبی از محل اعمال آنها تا رسیدن به شالوده می‌باشد. به همین منظور، نیاز است اعضای قرار گرفته در مسیر انتقال بار شناسایی شده و سهم هر یک از آنها مشخص گردد. در این قسمت از فصل، با نحوهٔ توزیع بارهای ثقلی وارد بر کف‌ها آشنا می‌شویم. این موضوع، از موارد پرکاربرد در فصل‌های بعدی کتاب محسوب می‌شود.

A-۱- سطح بارگیر اعضا

به‌طور کلی برای طراحی اعضای یک سازه، ابتدا لازم است مقدار بار ثقلی که از کف طبقه به عضو مورد نظر انتقال می‌یابد، مشخص گردد. برای تعیین مقدار بار، در گام اول باید سطح بارگیر عضو مشخص شود. اصولاً سهم بارگیر تیرها از کف طبقه، به عملکرد سقف وابسته بوده و مقدار نیروی انتقال یافته به تیرها، در سقف‌های با عملکرد یک‌طرفه و دوطرفه متفاوت است. در ادامه این موضوع را مطابق نمودار درختی زیر بررسی خواهیم کرد:

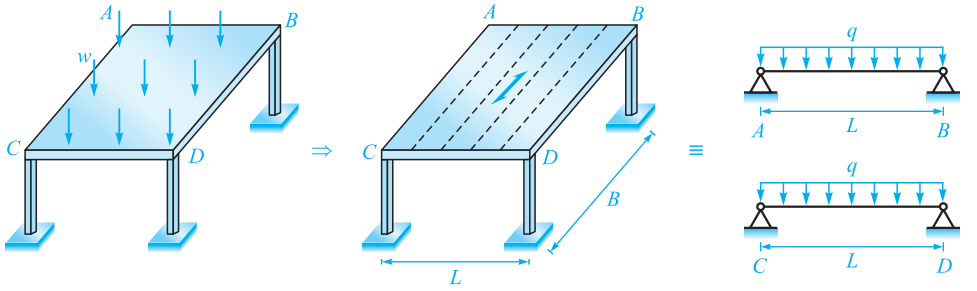
با جزئیات اجرایی سقف‌ها، در قسمت دوم این فصل بیشتر آشنا می‌شویم. سقف‌هایی مانند طاق‌ضربی، تیرچه بلوک، تیرچه کرمیت و همچنین کامپوزیت عملکرد یک‌طرفه داشته و سقف‌هایی مانند دال‌های تخت، دال‌های مجوف و دال‌های وافل، اغلب عملکرد دوطرفه دارند.

A-۲- سطح بارگیر تیرها در دال‌های یک‌طرفه

به منظور طراحی تیرها تحت بارهای ثقلی، ابتدا نیاز است مقدار باری که از سقف به این تیرها انتقال می‌یابد و همچنین توزیع این بارها در طول تیر تعیین گردد. برای درک بهتر این موضوع، شکل‌های صفحهٔ بعد را در نظر بگیرید که در آن، یک کف بر روی چهار تیر AB ، BD ، CD و AC قرار گرفته است:

زیر شاخه‌های قسمت اول:

A-۱- سطح بارگیر اعضا
A-۲- سطح بارگیر تیرها در دال‌های یک‌طرفه
A-۳- سطح بارگیر تیرها در دال‌های دوطرفه
A-۴- سطح بارگیر ستون‌ها



دال فوق یک‌طرفه است، یعنی بارهای ثقلی گستردهٔ سطحی با شدت w از طریق تیرچه‌های ترسیم شده در کف که با خط‌چین نشان داده شده است، در یک راستا منتقل شده و به دو تیر AB و CD می‌رسد.

به‌طور کلی در روند تحلیل تیرهای AB و CD، باید بارهای گستردهٔ سطحی وارد بر کف را با بار گستردهٔ خطی با شدت q بر روی عضوهای AB و CD جایگزین کرد. برای انجام این کار، باید به این اصل ساده و اساسی دقت کرد که کل بار گستردهٔ سطحی که از کف به تیر وارد می‌شود، باید با کل بار گستردهٔ خطی وارد بر تیر برابر باشد.

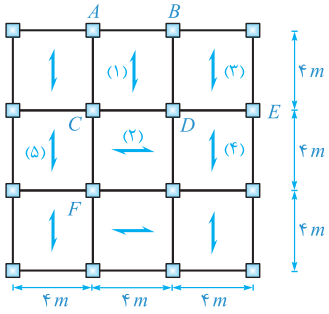
کل بار گستردهٔ خطی معادل وارد بر تیر = کل بار گستردهٔ سطحی سهم تیر

در تصویر مورد بررسی، هر تیرچه نیمی از بار خود را به تیر AB و نیمی از بار خود را به تیر CD می‌دهد و باری که به تیر AB می‌رسد، برابر است با:

$$w \times (A_{\text{بارگیر}})_{AB} = qL_{AB} \quad \Rightarrow \quad w\left(L \times \frac{B}{۲}\right) = qL \quad \Rightarrow \quad q = w \times \frac{B}{۲}$$

دقت: در یک کف مستطیلی مطابق شکل، اصطلاحاً می‌گوییم بار خطی وارد بر عضو، برابر شدت بار سطحی (w) در عرض بارگیر عضو ($\frac{B}{۲}$) است.

به‌طور کلی عرض بارگیر اعضاء، با توجه به جهت تیرریزی سقف به دست می‌آید. در پلان شکل زیر، جهت تیرریزی در چشمه‌های (پانل‌های) مختلف با فلش نشان داده شده است:



همان‌طور که مشاهده می‌کنید، جهت تیرریزی در دو چشمه از کف افقی و در بقیهٔ چشمه‌ها در راستای قائم است. در مورد این پلان می‌توان گفت:

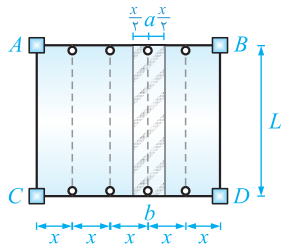
۱) بار کف (۱) با توجه به جهت تیرریزی، به تیرهای AB و CD می‌رسد و تیرهای AC و BD سهمی از آن ندارند (دقت شود که در کف یک‌طرفه، بار از طریق دو تیر منتقل می‌شود). عرض بارگیر تیر AB از کف (۱)، برابر نصف عرض عمود بر AB یعنی $۲m$ است.

۲) تیر DE با توجه به جهت تیرریزی، $۲m$ از کف (۳) و $۲m$ از کف (۴) بار می‌گیرد و عرض بارگیر آن در مجموع $۴m$ است.

۳) تیر CD با توجه به جهت تیرریزی، $۲m$ از کف (۱) بار گرفته و از کف (۲) با توجه به جهت تیرریزی آن باری نمی‌گیرد و عرض بارگیر آن $۲m$ است.

۴ تیر CF با توجه به جهت تیرریزی، $۲m$ از کف (۲) بار گرفته و ازکف (۵) باری نمی‌گیرد و عرض بارگیر آن $۲m$ است.

۵ شکل زیر را در نظر بگیرید که جانمایی تیرچه‌های فرعی نیز در آن نشان داده شده است. در این حالت بار منتقل شده از کف به تیر فرعی ab برابر می‌شود با:



$$q_{ab} = w_{\text{کف}} \times (۲ \times \frac{x}{۲}) = w_{\text{کف}} \times x$$

حال می‌توانیم لنگر طراحی این تیر را بیابیم:

$$M = \frac{q_{ab} L_{ab}^{۲}}{۸}$$

با توجه به توضیحات فوق می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که در هر یک از کف‌های موجود در سقف‌های یک‌طرفه، دو تیری که تیرچه‌ها بر روی آنها قرار می‌گیرند، باربر اصلی بوده و دو تیر دیگر، به‌طور تقریبی سهمی از بار ثقلی وارد بر آن کف نخواهند داشت. در ادامه با یک تمرین آموزشی، این موضوع را دقیق‌تر بررسی خواهیم کرد.

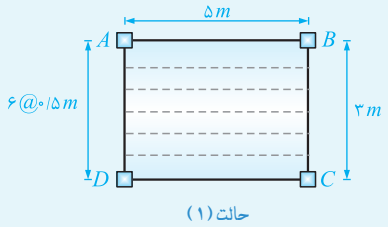
تمرین آموزشی

یک چشمه از پلان یک سازهٔ فولادی با ابعاد $۵\,m \times ۳\,m$ را در نظر بگیرید. فرض کنید در یک طرح، طراح سازه تیرچه‌ها را در راستای ۵ متری و در طرح دیگر در راستای ۳ متری انداخته است. بار گستردهٔ ثقلی ضریبدار پلان $۱۲۰۰\,kg/m^{۲}$ و فاصلهٔ تیرچه‌ها در دو حالت $۵۰\,cm$ در نظر گرفته شده و همچنین اتصالات تیرهای اصلی این سازه مفصلی فرض می‌شوند.

الف) تعداد و همچنین خمش تیرچه‌های فرعی در این دو طرح را باهم مقایسه کنید.

ب) لنگر خمشی طراحی تیرهای اصلی باربر این دو طرح را با هم مقایسه کنید.

حل الف) به بررسی دو طرح خواهیم پرداخت:



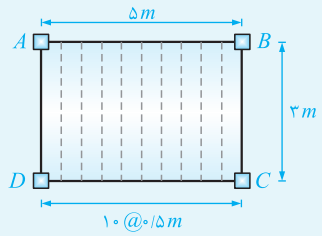
حالت (۱)

حالت (۱) تعداد تیرچه‌ها $n = \frac{L_{AD}}{S} - ۱ = \frac{۳}{۰/۵} - ۱ = ۵$

$q_{\text{تیر فرعی}} = w \boxed{x} = ۱۲۰۰ \times ۰/۵ = ۶۰۰\,kg/m$

$\boxed{x} \rightarrow ۲ \times \frac{۰/۵}{۲} = ۰/۵\,m$

لنگر طراحی تیر فرعی $= \frac{ql^{۲}}{۸} = \frac{۶۰۰ \times ۵^{۲}}{۸} = ۱۸۷۵\,kg/m$



حالت (۲)

حالت (۲) تعداد تیرچه‌ها $n = \frac{L_{CD}}{S} - ۱ = \frac{۵}{۰/۵} - ۱ = ۹$

$q_{\text{تیر فرعی}} = w \boxed{x} = ۱۲۰۰ \times ۰/۵ = ۶۰۰\,kg/m$

$\boxed{x} \rightarrow ۲ \times \frac{۰/۵}{۲} = ۰/۵\,m$

لنگر طراحی تیر فرعی $= \frac{ql^{۲}}{۸} = \frac{۶۰۰ \times ۳^{۲}}{۸} = ۶۷۵\,kg.m$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، اگر تیرهای فرعی در جهت بلندتر انداخته شوند (حالت ۱) به تعداد کمتری از آنها نیاز است، ولی طول بلندتر آنها باعث می‌شود لنگر طراحی بزرگتری برای تیرچه‌ها داشته باشیم و در نتیجه مقطع مورد نیاز برای آنها بزرگتر خواهد بود.

ب) در این قسمت از سؤال، به محاسبهٔ تیرهای اصلی در دو حالت (۱) و (۲) می‌پردازیم:

حالت (۱):

$$q_{AD} = w \times \frac{۵}{۲} = ۱۲۰۰ \times \frac{۵}{۲} = ۳۰۰۰\ kg/m$$ = بار خطی روی تیر اصلی AD

$$M_{AD} = \frac{q_{AD} L_{AD}^{۲}}{۸} = \frac{۳۰۰۰ \times ۳^{۲}}{۸} = ۳۳۷۵\ kg.m$$ = لنگر طراحی تیر اصلی AD

حالت (۲):

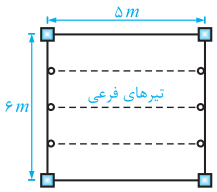
$$q_{AB} = w \times \frac{۳}{۲} = ۱۲۰۰ \times \frac{۳}{۲} = ۱۸۰۰\ kg/m$$ = بار خطی تیر اصلی AB

$$M_{AB} = \frac{q_{AB} L_{AB}^{۲}}{۸} = \frac{۱۸۰۰ \times ۵^{۲}}{۸} = ۵۶۲۵\ kg.m$$ = لنگر طراحی تیر اصلی AB

همان‌طور که می‌بینید لنگر طراحی تیر اصلی در حالت (۱) کمتر از حالت (۲) می‌باشد. به همین جهت است که توجه می‌شود تیرهای فرعی در جهت بلندتر (موارد AB در این سؤال) ریخته شوند تا باربر تیرهای اصلی کوتاه‌تر (AD و BC) برسد.

بررسی چند تمرین

تمرین ۱: برای پوشش یکی از چشمه‌های یک ساختمان فولادی از تیرهای فرعی به فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر استفاده شده است. چنانچه بار مرده این کف $۵\ kN/m^{۲}$ و بار زنده آن $۲\ kN/m^{۲}$ باشد، بدون توجه به کاهش بار زنده، در طراحی به روش LRFD مقاومت خمشی مورد نیاز تیرهای فرعی برحسب کیلونیوتن متر به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (نظارت - بهمن ۹۴)



۱) ۲۲ ۲) ۳۳ ۳) ۴۳ ۴) ۶۵

حل: مطابق با توضیحات پیش فصل کتاب، از ترکیب بار زیر جهت طراحی تیرچه‌های فلزی استفاده می‌کنیم (عرض بارگیر هر تیر فرعی، $\frac{۱/۵}{۲}$ از هر طرف بوده و در مجموع برابر $۱/۵\ m$ است):

ترکیب بار ضریبدار طراحی: $w = ۱/۲D + ۱/۶L = ۱/۲(۵) + ۱/۶ \times ۲ = ۹/۲\ kN/m^{۲}$

$q = ۹/۲ \times \boxed{۱/۵} = ۱۳/۸\ kN/m$

عرض بارگیر

مقاومت خمشی تیر باید بزرگتر مساوی این مقدار باشد. $\Rightarrow M = \frac{qL^{۲}}{۸} = \frac{۱۳/۸ \times ۵^{۲}}{۸} = ۴۳/۱۲\ kN.m$